

УДК 621.971

А.В.САПРЫКА, канд. техн. наук

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

## **МОДЕЛЬ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ СВЕТОДИОДНЫХ ИЗЛУЧАЮЩИХ УСТРОЙСТВ В ПРИБОРАХ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ**

Предлагается модель надежности работы светодиодных излучающих устройств и перспективы дальнейшего совершенствования системы наружного освещения города.

Запропоновано модель надійності роботи світлодіодних випромінюючих пристроїв і перспективи подальшого вдосконалення системи зовнішнього освітлення міста.

In the papers is offered the model of reliability of work of led devices and prospect of further perfection of the system of outward illumination of city.

*Ключевые слова:* модель, светодиодные излучающие устройства, наружное освещение, надежность, осветительная установка.

Для перспективного развития наружного освещения необходимо внедрение нового поколения светотехнического оборудования с использованием светодиодных излучающих устройств, которые позволят значительно сократить энергопотребление и снизить затраты на обслуживание, а также повысить безопасность в работе. Как показано в работе [1], замена в Украине 30% ламп накаливания на светодиодные источники света позволит сэкономить около 13,8 млрд. кВт·ч электроэнергии в год и снизить выброс в атмосферу на 7,8 млн. т углекислого газа.

Надежная работа осветительных установок имеет немаловажное значение в общем балансе электропотребления, поэтому моделирование надежности работы светодиодных излучающих устройств является актуальным.

Анализ последних публикаций [1-6] выявил необходимость эффективной оценки надежности работы светодиодных излучающих устройств. Оценка вероятности отказа базируется на обширном статистическом материале и моделях надежности, которые позволяют прогнозировать изменения уровня надежности во времени и от температуры окружающей среды.

Целью работы является построение модели надежности работы светодиодных излучающих устройств в приборах наружного освещения.

Приборы наружного освещения работают в циклическом режиме, который зависит от продолжительности светового дня и уровня освещенности территории. Такой режим работы затрудняет оценку надежности работы светодиодных излучающих устройств в приборах на-

ружного освещения. Наряду с этим, надежность работы светодиодных излучающих устройств существенно зависит от температуры окружающей среды, что также необходимо учитывать при оценке надежности. Поэтому следует построить математическую модель надежности светодиодных излучающих устройств с учетом особенностей их функционирования в приборах наружного освещения.

Предположим, что светодиодное излучающее устройство может находиться в двух состояниях:  $E_1$  – работоспособном с вероятностью  $P_1(t)$  и  $E_2$  – неработоспособном (отказ) с вероятностью  $P_0(t)$ .

Одним из способов представления вероятностей перехода системы из одного состояния в другое является построение диаграммы переходов. Такие диаграммы переходов называются Марковскими цепями. Диаграмма переходов представляет собой граф, вершины которого соответствуют состояниям системы, а направление дуги указывает возможные переходы от одного состояния к другому. Вероятности переходов отмечаются числами, приписываемыми каждой дуге. Сумма вероятностей для дуг, выходящих из любой вершины графа, должна равняться единице.

Исследуя изменения интенсивности отказов во времени, можно заметить, что у большинства полупроводниковых элементов имеется период времени, на котором интенсивность отказов практически постоянная. В таких случаях можно принять, что интенсивность отказов  $\lambda(t)$  не зависит от времени, т.е.  $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$ . С учетом этого допущения изобразим процесс отказа светодиодного излучающего устройства в виде цепи Маркова (рис.1).

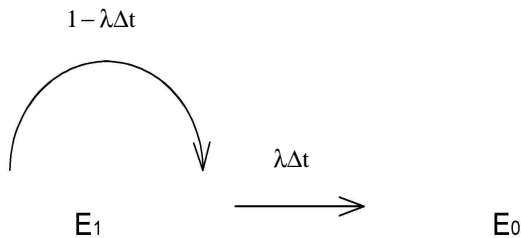


Рис.1 – Модель отказа светодиодного излучающего устройства

Из этой модели видно, что с вероятностью  $\lambda\Delta t$  элемент переходит из работоспособного состояния в неработоспособное, а с вероятностью  $1 - \lambda\Delta t$  остается в работоспособном состоянии.

Для того, чтобы элемент находился в работоспособном состоянии в момент времени  $t + \Delta t$ , необходимо, чтобы он был исправен в момент времени  $t$  и не произошло перехода с вероятностью  $\lambda \Delta t$  в неработоспособное состояние. Поэтому для определения вероятности необходимо найти элемент в работоспособном состоянии в момент времени  $t + \Delta t$  и по теореме умножения вероятностей получим

$$P_1(t + \Delta t) = P_1(t) \cdot (1 - \lambda \Delta t) .$$

Преобразуем полученное выражение, раскрыв скобки

$$P_1(t + \Delta t) = P_1(t) - P_1(t) \lambda \Delta t ,$$

и перенесем  $P_1(t)$  из правой части в левую часть уравнения

$$P_1(t + \Delta t) - P_1(t) = -P_1(t) \lambda \Delta t .$$

Разделив левую и правую части уравнения на  $\Delta t$ , получим выражение

$$\frac{P_1(t + \Delta t) - P_1(t)}{\Delta t} = -P_1(t) \lambda .$$

Устремляя  $\Delta t$  к нулю и выполняя предельный переход

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_1(t + \Delta t) - P_1(t)}{\Delta t} = -P_1(t) \lambda ,$$

получим дифференциальное уравнение относительно  $P_1(t)$

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = -P_1(t) \lambda ,$$

или

$$\frac{dP_1(t)}{dt} + P_1(t) \lambda = 0 .$$

Решение однородного линейного дифференциального уравнения первого порядка будем искать в виде:

$$P_1(t) = C \cdot e^{kt} ,$$

где  $C$  – постоянная интегрирования.

Константу  $k$  найдем из характеристического уравнения

$$p + \lambda = 0 ,$$

$$k = -\lambda .$$

Таким образом, можно записать

$$P_1(t) = C \cdot e^{-\lambda t} .$$

Постоянную интегрирования  $C$  найдем из начальных условий.

Предположим, что  $P_1(0) = P_{\text{ин}}$ , тогда для  $t = 0$  можно записать

$$P_{\text{ин}} = C \cdot e^{-\lambda \cdot 0}.$$

Из последнего уравнения следует, что

$$P_1(t) = P_{\text{ин}} \cdot e^{-\lambda t}.$$

Полученное выражение соответствует экспоненциальному закону распределения отказов, но обладает тем достоинством, что учитывает начальное значение вероятности безотказной работы, что позволяет учитывать характер работы светодиодных излучающих устройств в приборах наружного освещения.

Так, если необходимо учитывать циклический характер работы прибора наружного освещения, то каждый новый цикл будет учитывать повышение вероятности отказа из-за работы в предыдущих циклах.

В тех случаях, когда надо учитывать влияние на надежность работы приборов наружного освещения коммутационных операций, начальное значение вероятности безотказной работы  $P_{\text{ин}}$  можно уменьшать на величину, характеризующую вероятность отказа светодиодных излучающих устройств из-за коммутационных процессов.

Если в промежутках между рабочими циклами существенно изменились климатические условия работы приборов наружного освещения, то вычисление вероятности безотказной работы  $P_1(t)$  в будущих рабочих циклах можно осуществлять с учетом новых значений интенсивности отказов  $\lambda$ .

Физические процессы, происходящие в полупроводниковых приборах, существенно зависят от температуры окружающей среды. Вследствие этого надежность работы светодиодных излучающих устройств зависит также от температуры окружающей среды.

Экспериментальные исследования, проведенные В.Н.Щербаковым по программе длительных испытаний (life time), позволили получить данные об интенсивности отказов  $\lambda$  светодиодов на основе  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0,5}\text{P}$  в стандартном пластмассовом корпусе Т-1  $\frac{3}{4}$  [3]. Результаты испытаний приведены в табл.1.

Для получения аналитической зависимости интенсивности отказов  $\lambda$  от значений температуры окружающей среды выполним аппроксимацию данных методом наименьших квадратов и получим аналитическое выражение

$$\lambda = 0,0000479e^{0,0381T} - 0,0000259.$$

Полученная аналитическая зависимость позволяет провести мате-

матическое моделирование и оценить вероятность отказа светодиодного излучающего устройства при различной температуре окружающей среды.

Таблица 1 – Интенсивность отказов  $\lambda$  при различной температуре окружающей среды

№ п/п	Температура окружающей среды, Т, °С	Интенсивность отказов, $\lambda$ , 1/ч
1	85	0,0018
2	75	0,00082
3	65	0,00056
4	55	0,00037
5	45	0,00024
6	35	0,00015
7	25	0,00009
8	15	0,00006
9	5	0,00003

Будем полагать, что вероятность отказа светодиода подчиняется экспоненциальному закону распределения

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}.$$

Вычислим вероятность отказа светодиода для трех моментов времени – одного месяца, шести месяцев и одного года при различных значениях температуры окружающей среды. Результаты моделирования приведены на рис.2.

Верхний график на рис.2 соответствует моменту времени Т=1 год, средний – Т=6 месяцев, а нижний – Т=1 месяц. Из этих графиков видно, что вероятность отказа существенно зависит от температуры окружающей среды и при расчетах надежности наружного освещения следует учитывать этот факт.

Для оценки вероятности безотказной работы светодиодных излучающих устройств при различной температуре окружающей среды в реальных условиях эксплуатации выполним моделирование на ПК работы этих устройств в течение пяти календарных лет и определим вероятности безотказной работы для соответствующих периодов времени. Для упрощения расчетов будем полагать, что световые приборы включены от заката до рассвета для соответствующих месяцев года, и среднемесячных температур в регионе г.Харькова.

Исходные данные сведем в табл.2.

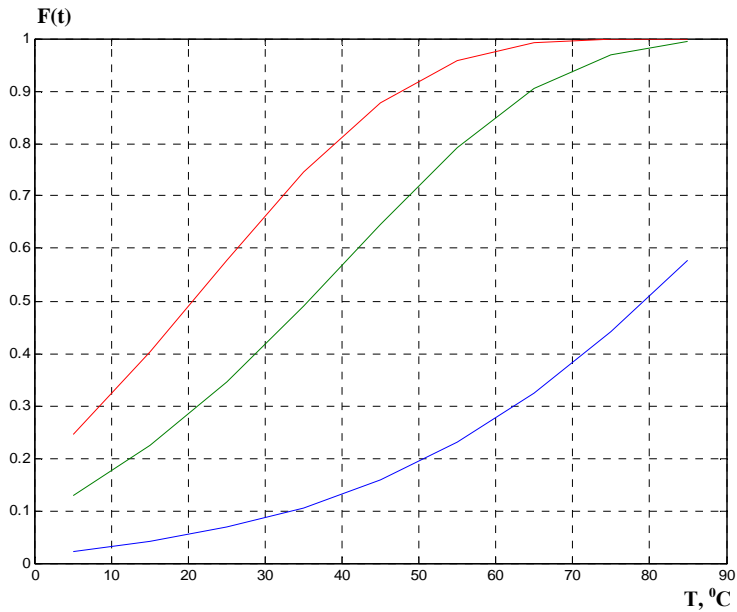


Рис.2 – Графики зависимости вероятности отказа светодиода от температуры  $T$

Таблица 2 – Исходные данные

Месяц	Средняя температура $T, ^\circ\text{C}$	Время работы $t, \text{ч}$
Январь	-7,3	451,4
Февраль	-6,9	423,4
Март	-1,7	336,8
Апрель	7,7	316,3
Май	15,1	248,5
Июнь	18,6	207,2
Июль	28	187,8
Август	19,7	227
Сентябрь	14	283,6
Октябрь	7,1	332,2
Ноябрь	0,3	398,9
Декабрь	-4,8	426,4

В результате моделирования получим график зависимости вероятности безотказной работы от времени (рис.3). Расчеты выполняли помесечно, что и объясняет волнистый характер кривой. Видно, что в течение пяти лет (60 месяцев) вероятность безотказной работы падает до 0,46.

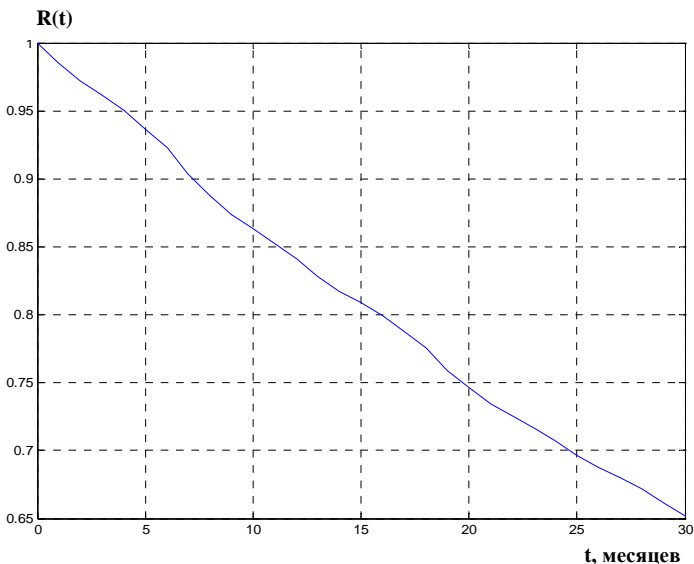


Рис.3 – Зависимость вероятности безотказной работы от времени с учетом ежемесячной температуры

Для получения сопоставимых результатов проведем машинное моделирование исходя из среднегодовых параметров работы наружного освещения с использованием светодиодных излучающих устройств. Будем полагать среднегодовое время работы освещения равным 3839,5 ч, а среднегодовую температуру – 7,5 °C.

Результаты расчета приведены на рис.4. Анализ этих графиков показывает плавную зависимость вероятности безотказной работы от времени. Такой расчет дает несколько завышенную оценку вероятности безотказной работы светодиодных излучающих устройств.

Таким образом, модель с учетом графика циклической работы осветительных приборов и помесечной температуры дает возможность более точно оценить надежность работы светодиодных излучающих устройств, научно обоснованно организовать сроки технического об-

служивания и прогнозировать уровни освещенности объектов в течение продолжительного промежутка времени.

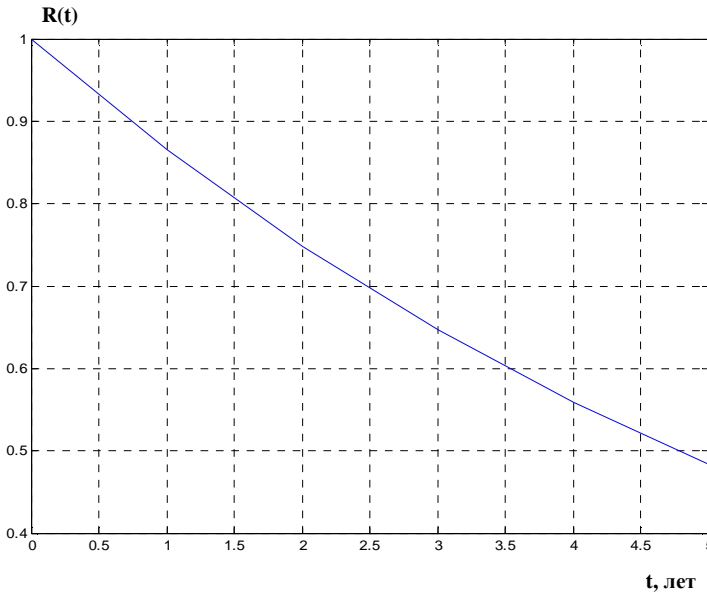


Рис.4 – Зависимость вероятности безотказной работы от времени для среднегодовой температуры

1.Боршов В.Н., Листратенко А.М., Антонова В.А., Проценко М.А., Тымчук И.Т., Костышин Я.Я. Светодиодные модули на основе алюминиевой (COF) технологии // Світлотехніка та електроенергетика: Міжн. науч.-техн. журнал. Вып.4(16). – Харків: ХНАГХ, 2008. – С.31-37.

2.Коган Л.М. Полупроводниковые светодиоды: современное состояние // Светотехника. – 2000. – №6. – С.11-15.

3.Щербаков В.Н. Исследование надежности и диагностика светодиодов на основе гетероструктур всех основных цветов // Сб. трудов XX МНТК «Информационные технологии и моделирование приборов и техпроцессов в целях обеспечения качества и надежности». Т.3. – М: МГУПИ, 2006. – С.65-74.

4.Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 207 с.

5.Рубцов В.П., Погребиский М.Я. Моделирование в технике. – М.: МЭИ, 2008. – 101 с.

6.Сапрыка А.В., Рожков П.П., Татьков В.П. Оценка надежности системы наружного освещения // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.86. Сер.: Технические науки и архитектура. – К.: Техніка, 2009. – С. 236-241.

Получено 05.07.2009



УДК 628.971

Ю.В.РОЙ, В.М.ПОЛІЩУК, канд. техн. наук, В.Ф.РОЙ, д-р фіз.-матем. наук  
*Харківська національна академія міського господарства*

## **УДОСКОНАЛЕННЯ СВІТЛОДІОДНОГО ДЖЕРЕЛА ВИПРОМІНЕННЯ**

На основі експериментального дослідження електроенергетичних характеристик новітніх світлодіодів змінного струму типу «Asriche» в якості енергоощадних джерел світла для освітлювальних установок різноманітного призначення запропонована методика удосконалення їх функціональних параметрів і розроблена схема, яка дозволяє підвищити ефективність світлодіоду майже до 100%.

На основе экспериментального исследования электроэнергетических характеристик новейших светодиодов переменного тока типа «Asriche» в качестве энергосберегающих источников света для осветительных установок различного назначения предложена методика усовершенствования их функциональных параметров и разработана схема, которая позволяет повысить эффективность светодиода почти до 100%.

On the basis of experimental research of electroenergetichnih descriptions of the newest light-emitting diodes of alternating current of type «Asriche», as energooshadnih sources of light for lighting options of the various setting, offered method of improvement of their functional parameters, that developed chart which allows to promote efficiency to the light-emitting diode till about 100%.

*Ключові слова:* джерела світла, енергетичні характеристики світлодіодів, ефективність використання електроенергії світлодіодами.

Важливим напрямком щодо впровадження енерго- та ресурсозберігаючих технологій в промисловості й комунальному господарстві є використання енергоекономічних систем освітлення. Електроспоживання освітлювальних установок, за оцінками спеціалістів, досягне в 2009 р. майже 20% від усієї спожитої в Україні електроенергії, і доля її з кожним роком має тенденцію до зростання. Найбільш великі можливості економії електроенергії (ЕЕ), що споживаються освітлювальними установками (ОУ), знаходяться у сфері промислових, суспільних та житлових приміщень. Найбільш перспективним напрямком енергозбереження в цій галузі є широке впровадження енергоощадних інтегрованих компактних люмінесцентних ламп (КЛЛ), що мають набагато більшу світлову віддачу (50-80 лм/Вт) в порівнянні з лампами розжарювання (8-13 лм/Вт), та в 6-8 разів більший строк служби. Але найбільш суттєвою їх перевагою є енергоекономічність, що майже в 5 разів більша, ніж у ламп розжарювання такої ж потужності. Окрім того, КЛЛ легко адаптуються до існуючих світлових приладів, що не потребує додаткових витрат на їх переобладнання. Нажаль, КЛЛ мають суттєві недоліки, які стосуються їх енергетичних характеристик, і тому суттєво впливають на функціональні параметри таких джерел світла.